

温度和 TS 对小麦酒糟厌氧发酵产气性能的影响

李金娟, 刘方, 冯洁, 郭全成

(贵州大学资源与环境工程学院, 贵州 贵阳 550003)

摘要: 在温度为 30℃、35℃、40℃、45℃、50℃, TS 分别为 6%、8% 和 10% 的条件下, 研究了小麦酒糟厌氧发酵过程中的 pH 值变化和产气率。结果表明, 各实验条件下, 发酵液 pH 值均呈现出先下降后升高的趋势, 基质浓度通过改变反应混合物的 pH 值来间接影响发酵的反应过程, 同一温度下, TS 越高越容易出现酸化; 不同温度下, TS 对产气率的影响较大, 温度 40℃ 时的产气率远高于其他温度, 且不同 TS 浓度下的产气率相差较大。在本实验条件下, 温度为 40℃、TS 为 6% 是小麦酒糟厌氧发酵的最适宜条件。

关键词: 酒糟; 厌氧发酵; 温度; TS; 沼气产量

中图分类号: X797; X713

文献标识码: A

文章编号: 1001-9286(2011)11-0106-04

Effects of Temperature and TS on Biogas Yield by Anaerobic Fermentation of Wheat Distiller's Grains

LI Jinjuan, LIU Fang, Feng Jie and GUO Quancheng

(Resources and Environmental Engineering College, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550003, China)

Abstract: In conditions of temperature at 30 °C, 35 °C, 40 °C, 45 °C, 50 °C, and TS (total solids) content as 6 %, 8 % and 10 %, the change in pH values and biogas yield by anaerobic fermentation of wheat distiller's grains was investigated. The results showed that pH value of fermenting liquid dropped firstly and increased later in all conditions, substrate concentration changed mixture pH values and further influenced fermentation indirectly, higher TS content would result in acidification more easily at the same temperature, TS content had higher effects on biogas yield at different temperature and biogas yield was the highest at 40 °C, and different TS content had different biogas yield. In this study, temperature at 40 °C and TS content as 6 % were the most suitable conditions for anaerobic fermentation of wheat distiller's grains.

Key words: distiller's grain; anaerobic fermentation; temperature; TS; biogas yield

近年来, 随着白酒市场的不断扩大和车用燃料乙醇的大范围使用, 作为乙醇和白酒生产的副产物—酒糟的产量也随之增大, 发酵丢糟达 1500~2100 万 t/年。如不及时加以利用或处理, 会造成资源的浪费和环境的严重污染, 发酵业对环境的污染程度仅次于造纸行业^[1]。酒糟中含有丰富的蛋白质, 18 种氨基酸, 磷、钾等无机元素及戊糖、总糖和脂肪等成分^[2]。目前酒糟主要用于家畜饲料、发酵蛋白饲料、培养食用菌、改良土壤等。酒糟水分含量高(60%~70%), 粗蛋白含量 12%~15%, 粗纤维 20%左右^[3], 非常适宜作为厌氧消化的原料。高军林^[4]等利用酒糟液作为污泥厌氧消化的添加剂, 很大程度上提高剩余污泥的产气率。本文以酒糟为发酵基质, 分别研究了 TS 为 6%、8%、10%, 温度为 30℃、35℃、40℃、45℃、50℃ 的条件下厌氧发酵过程中 pH 变化、产气总量及产

气率, 分析温度、TS 对酒糟厌氧发酵的影响, 得出其最适宜发酵条件, 为酒糟的综合利用探索一种新的方法。

1 材料与方法

1.1 实验材料与装置

基质: 酒糟, 取自贵阳市某酒厂。

活性污泥: 取自贵阳小河污水处理厂, 并经过驯化后作为菌种源引入发酵液中。

实验装置如图 1 所示。

1.2 实验设计

在发酵基质 TS 含量分别为 6%、8% 和 10%, 温度为 30℃、35℃、40℃、45℃、50℃ 的条件下, 进行 a-o 共 15 组发酵实验。实验设计见表 1。

1.3 测定指标与方法

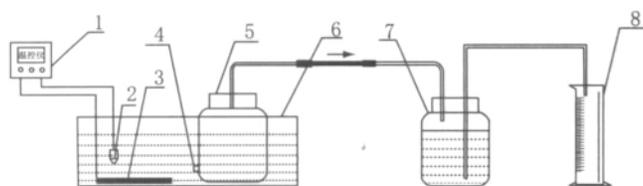
基金项目 教育部春晖计划项目(Z2007-1-52004), 贵阳市科技局农业科技攻关项目(2009-2-017)。

收稿日期: 2011-09-21

作者简介: 李金娟(1976-), 女, 山东烟台人, 副教授, 博士, 硕士生导师, 主要从事环境污染控制与固体废物资源化研究。

通讯作者: 刘方, E-mail: lfang6435@163.com。

优先数字出版时间 2011-10-17; 地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/52.1051.TS.20111017.1017.003.html>。



注:1 电子恒温仪;2 温度探头;3 加热棒;4 取样口;5 反应器;6 水槽;7 集气瓶;8 量筒

图1 酒糟厌氧发酵反应器

表1 实验设计表

项目	TS (%)	温度 (°C)	项目	TS (%)	温度 (°C)
a	10	30	i	8	45
b	10	35	j	8	50
c	10	40	k	6	30
d	10	45	l	6	35
e	10	50	m	6	40
f	8	30	n	6	45
g	8	35	o	6	50
h	8	40			

TS: 烘干法; pH 值: 采用精密 pH 试纸测定, 每 4 d 测 4 次; 产气量: 向下排水法测定, 每天测 1 次。

2 结果与分析

酒糟发酵实验周期为 27 d, TS 分别为 10%、8% 和 6% 时, 分别在温度为 30 °C、35 °C、40 °C、45 °C、50 °C 时测定 pH 值变化及产气量。

2.1 不同 TS、不同温度条件下的 pH 值及产气量的变化规律

2.1.1 TS 为 10% 时不同温度下 pH 值及产气量的变化规律

TS 为 10%, 温度分别为 30 °C、35 °C、40 °C、45 °C、50 °C 时的 pH 值和产气量随厌氧发酵时间的变化规律见图 2 和图 3。

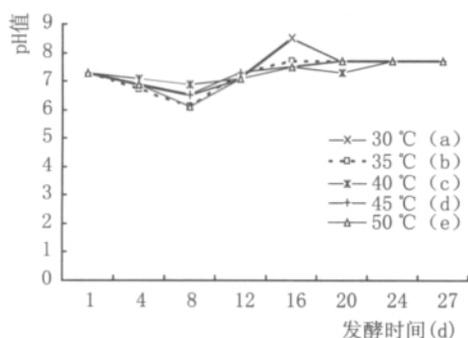


图2 TS 10% 时 pH 值随厌氧发酵时间的变化

由图 2、图 3 可以看出, 发酵初期, 35 °C 和 50 °C 对应的发酵瓶中 pH 值下降幅度最大, 在 8 d 时下降到 6.1。40 °C 对应的发酵瓶中的下降幅度最小。与 pH 值下降幅度相对应, 35 °C 的总产气量也是最低的, 仅 645.6 mL, 50 °C

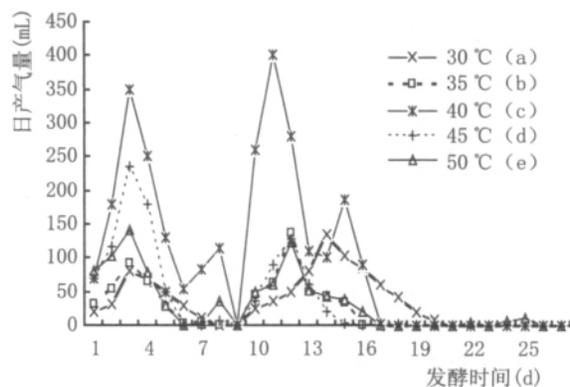


图3 TS 10% 时产气量随厌氧发酵时间的变化

时为 877.5 mL, 而 40 °C 环境下的厌氧发酵产气总量是最多的, 达 2661.3 mL, 远远大于其他温度的产气总量。a~e 组的 pH 值和产气量的变化趋势都大致相同。

2.1.2 TS 为 8% 时不同温度下 pH 值及产气量的变化规律

TS 为 8%, 温度分别为 30 °C、35 °C、40 °C、45 °C、50 °C 时的 pH 值和产气量随厌氧发酵时间的变化规律见图 4 和图 5。

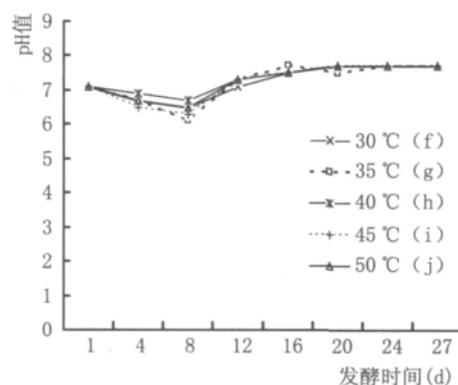


图4 TS 8% 时 pH 值随厌氧发酵时间的变化

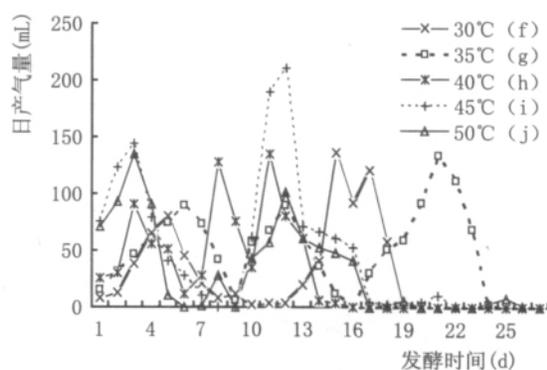


图5 TS 8% 时产气量随厌氧发酵时间的变化

在最初的 4 d 里, 45 °C 和 35 °C 对应的发酵瓶中 pH 值的下降幅度最快, 到 8 d 时 35 °C 的发酵瓶中 pH 值达到了最低值 6.1 左右。40 °C 对应的发酵瓶中 pH 值的变

化依然最小,最低值也在 6.7 左右。在 16 d 之后除 35 °C 对应的 pH 值上升较快外,其他各温度对应的 pH 值变化基本接近。各组 pH 值的变化趋势基本相同。

35 °C 时发酵产气总量最多,达到 1311.4 mL,再次是 45 °C 时发酵产气总量为 1232.8 mL,其他温度情况下产气总量相差不多。

可以看出,TS 含量为 8 % 时的产气效果普遍较差,但差异不大。

2.1.3 TS 为 6 % 时不同温度下 pH 值及产气量的变化规律

TS 为 6 %, 温度分别为 30 °C、35 °C、40 °C、45 °C、50 °C 时的 pH 值和产气量随厌氧发酵时间的变化规律见图 6 和图 7。

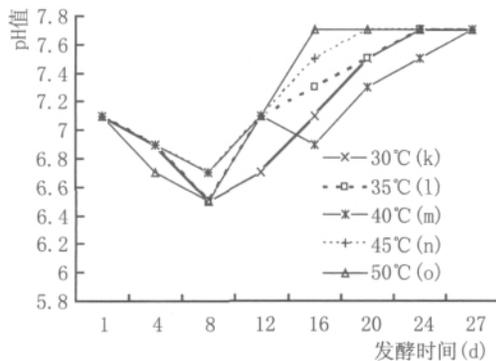


图 6 TS 6% 时 pH 值随厌氧发酵时间的变化

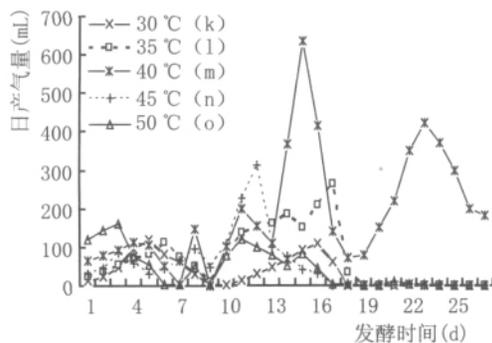


图 7 TS 6% 时产气量随厌氧发酵时间的变化

在最初的几天里 50 °C 对应的发酵瓶中 pH 值下降最快,而其他各组变化较为一致。但是在 8 d 之后的上升过程中,各组 pH 值变化出现明显的差别。50 °C 对应的 pH 值曲线上升最快,接下来依次是 45 °C、35 °C、30 °C、40 °C 所对应的 pH 值变化曲线。其中 40 °C 对应的 pH 值变化曲线出现了明显的波动,且在发酵将要结束时才上升到 7.7 左右。

40 °C 下发酵产气量最多为 5129.4 mL,而 30 °C 下发酵产气量最少为 918.8 mL,其他的温度情况下产气量与 30 °C 的相差不多。40 °C 对应的总产气效率是其他组的

3~5 倍,由此可知,TS 含量为 6 % 的情况下,40 °C 的发酵条件产气效果显著且产气量很大,其他温度的发酵条件较为接近,但总体产气量较高。

2.2 不同 TS 和不同温度条件下产气率比较

40 °C 环境下发酵产气量最多为 5129.4 mL,而 30 °C 环境下发酵产气量最少为 918.8 mL。

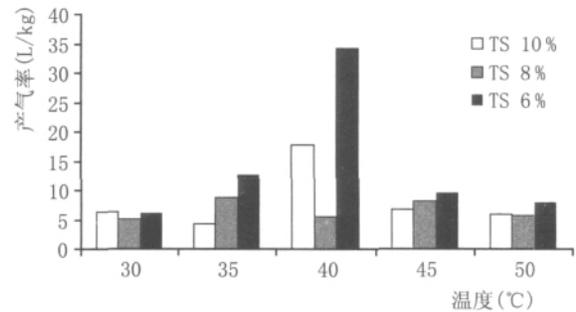


图 8 27 d 内不同条件下酒糟厌氧发酵的产气率

由图 8 可以看出,温度 40 °C、TS 为 6 % 条件下的产气率最高,效果十分显著。40 °C 时的产气率远高于其他温度下的产气率,且不同 TS 浓度下的产气率相差较大。其他温度条件下的产气率相差不多。35 °C 及 45 °C 时,TS 为 6 % 的产气率最高。30 °C、50 °C 时,各 TS 下的产气率相差不多,可见 TS 在该温度下对产气率影响不大。

2.3 分析

在 TS 含量分别为 10 %、8 % 和 6 % 时,发酵液初始 pH 值为 7.1~7.3,能够满足中温产甲烷菌的最适 pH 值 6.8~7.2,表明酒糟中的残留酒精不会对发酵菌的生存造成影响。15 组实验中发酵液的 pH 值均是先下降后升高,且在 8 d 左右达到最低点,均在 6.5 以下。相对应的发酵日产气量在 8 d 左右出现一个低谷,而随着 pH 值的回升,日产气量也相应提高。但随着发酵反应的进行,pH 值上升到 7.7 左右,而发酵的产气量呈现下降趋势。主要因为初期发酵液中的产甲烷菌较少,而菌群中的产酸菌略占优势,生长旺盛,所以在开始发酵的前 8 d 内发酵液的 pH 值均略有下降。在发酵中后期,由于氨化作用产生氨,使 pH 值又逐渐呈上升趋势。随着产氨细菌的大量活动,蛋白质分解和脱氨作用的强烈进行,为甲烷细菌提供了丰富的氮素营养和适宜的 pH 值^[5],于是产甲烷菌又开始活跃起来,日产气量再次出现上升趋势。

在温度为 40 °C 与 45 °C 时启动比较快,较早出现产气高峰,产气量总的来说比较高。这可能是因为小麦酒糟中含丰富的有机质,接种物里含有大量的产酸菌、氨化菌和甲烷菌等^[6],40 °C 与 45 °C 是它们比较合适的温度,因此,在发酵初期就能利用有机物质开始产气。

与牛粪发酵实验不同,小麦酒糟发酵的日产气量不

稳定,随时间出现较大波动,出现多个小波峰,但最大产气量多出现在发酵中期。其原因是小麦酒糟含乙醇、氨基酸、蛋白质、糖类等成分,而这些成分在发酵过程中的水解、酸化和产气的时间不同,且具阶段性,故出现较多波动。

据李美群^[7]等人的研究,酒糟发酵过程中,厌氧纤维素菌的增长较缓慢。因此,可以在发酵原料中加入适当的微量元素,以提高纤维素菌酶的活力,加大纤维素的分解和利用,为甲烷菌提供更多的前提物质,进而提高甲烷产量。而牛粪中含有丰富的发酵所需的微量物质,可考虑将此类物质与酒糟混合发酵。

总的来说,在 TS 浓度较高的情况下,pH 值下降较明显。这是由于发酵液浓度高,抑制了产甲烷菌的活性,水解酸化的速度大于产甲烷的速度,就造成挥发酸的大量积累,形成酸化现象。这与刘德江^[8]等人的研究结果一致。因此,酒糟 TS 较低且在 6% 时产气效果较好。

3 结论

3.1 小麦酒糟 15 个发酵组中发酵液的 pH 值变化趋势都是先下降后升高。反应混合物的发酵浓度主要是通过营养成分的变化影响微生物的活性,从而通过改变发酵

混合物的 pH 值来间接影响发酵效率。

3.2 同一温度下,TS 浓度越高,越容易发生酸化,当 TS 为 6% 时的产气量最高。

3.3 本次实验结果表明,在温度为 40℃、发酵浓度 6% 时,酒糟厌氧发酵的产气效率最高。

参考文献:

- [1] Ucfen·P. Recovery of insoluble fiber fractions by filtration and centrifugation [J]. Animal Feed Science and technology, 2006 (129): 316.
- [2] 程抱奎. 开发酒糟资源节省饲料用粮 [J]. 粮食与饲料工业, 1999 (3): 30-31.
- [3] 王文宗, 康福建, 李恒, 张文学, 赖登辉, 范麇. 酿酒丢糟转化为高蛋白饲料的研究 [J]. 酿酒科技, 2008(2): 103-105.
- [4] 高军林, 台明青, 陈杰瑛. 剩余污泥与酒糟糟液共厌氧消化性能的研究 [J]. 酿酒科技, 2008(3): 123-127.
- [5] 徐曾符. 沼气工艺学 [M]. 北京: 农业出版社, 1981: 112-119.
- [6] 李美群, 熊兴耀, 谭兴和, 等. 不同温度对红薯酒糟沼气发酵的影响 [J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2010(2): 153-158.
- [7] 李美群, 熊兴耀, 谭兴和, 等. 温度对红薯酒糟沼气发酵微生物的影响 [J]. 中国酿造, 2010(6): 44-47.
- [8] 刘德江, 张富年, 邱桃玉, 等. 牛粪不同发酵浓度对沼气中甲烷及硫化氢含量的影响 [J]. 中国沼气, 2008, 5(26): 18-20.

(上接第 99 页)

程中的损失,同时鲜薯淀粉的糊化也不受影响,反而使淀粉出酒率上升 1%~1.5%。

⑤由于甲醇的沸点低于乙醇,在蒸馏时属于头段杂质。因此在蒸馏过程中,需要排去占产量 1% 的酒头。

除此之外,通过微生物育种选取含果胶酶较低的菌种,也是降低甲醇含量的方法之一。

3 结束语

红薯白酒目前在我国还没有得到非常广泛的生产,主要受传统固态发酵工艺的影响,红薯酒的酿造工艺不是很成熟,导致红薯酒质量品质不高;而液态发酵工艺设备投资较高,国内业界在技术和工艺上也缺乏认识;同时,红薯酒在口感上与高粱酒等差异较大,消费者一时还不能很好接受这种新口味白酒。也正因为如此,红薯白酒的上升空间还很大。通过改进酿造工艺,增加红薯白酒的产率,控制其中的甲醇含量,改善红薯白酒的口味,提高其在消费者心目中的地位,可以使红薯白酒得到更好的发展,从而更好地解决“三农”问题,促进地方经济快速发展的良好局面。

参考文献:

- [1] 刘远祥, 肖治良, 潘平. 红薯酿酒技术要点 [J]. 农村发展论坛, 2001: 143-144.
- [2] 张文学, 李家民. 本格烧酒及其副产物(烧酒粕)的生理机能性 [J]. 四川食品与发酵, 2008, 44(2): 74-76.
- [3] 竹鸠直树, 黄玉莲, 张文学. 烧酒糟的功能性和糟的处理 [J]. 食品与发酵科技, 2009, 45 (1): 69-74.
- [4] 杜连起. 甘薯酒酿制方法 [J]. 农村新技术, 2010(10): 59-61.
- [5] 陈用福. 鲜苕生产食用酒精 [J]. 四川食品与发酵, 1994(2): 20-22.
- [6] 木田建次, 张文学. 白酒と焼酎の製造法及び成分の比較 [J]. どん粉と食品, 2008, 33 (3): 7-13.
- [7] 金凤婵. 酿酒工艺与设备选用手册 [M]. 北京: 化学工业出版社, 第一版, 2003.
- [8] 王蓉, 张磊, 张文学. 高效酿酒微生物菌剂的生产应用试验 [J]. 中国酿造, 2010(3): 177-179.
- [9] 王才. 红薯制作白酒技术 [J]. 农村新技术, 2008(22): 58-59.
- [10] 朱志文. 调整工艺, 降低鲜红薯酒精中甲醇含量 [J]. 酿酒科技, 2000(98): 53-54.